人工智能在骨关节炎诊疗中的应用进展

郭天赐，陈继鑫，余伟杰，等. 人工智能在骨关节炎诊疗中的应用进展［J］. 中国全科医学，2023. ［Epub ahead of print］. DOI：10. 12114/j. issn. 1007-9572. 2023. 0019

郭天赐，陈继鑫，余伟杰，刘爱峰*
基金项目：国家自然科学基金面上项目“基于 3D 氧化石墨烯纳米支架培养脐源性 MSC 调节关节微环境对肾虚血瘀型膝 OA 软骨修复制研究”（项目编号：81873316）；中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目“创新改善力学微环境治疗老年性膝骨关节炎”（项目编号：2022-JKCS-07）
300381 天津，天津中医药大学第一附属医院骨伤科、国家中医针灸临床医学研究中心
*通信作者：刘爱峰，主任医师，博士生导师；E-mail：draifeng@163.com

【摘要】 骨关节炎（osteoarthritis, OA）是临床常见的退行性病变，晚期可导致关节功能丧失，具有高致残率，目前尚无有效的根治方法。因此，早期诊断和精准治疗是改善治疗效果的关键。人工智能（artificial intelligence, AI）属于多学科交叉融合的研究热点，近年来已逐渐应用到 OA 诊疗过程中，能够提高诊断准确性、改善临床治疗和预后效果。本文通过归纳近年来相关文献，对 AI 在 OA 诊疗中的应用现状进行系统阐述，发现其在辅助 OA 影像诊断、手术治疗、疾病进展预测和术后康复等方面具有潜在的应用价值，并对 AI 在 OA 诊疗过程中的应用局限进行总结，指明今后的研究方向，以期为 AI 技术更好地参与 OA 诊疗提供借鉴和参考依据。
【关键词】 人工智能；机器学习；深度学习；骨关节炎；手术机器人；智能康复；综述

Application progress of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of osteoarthritis

*GUO Tianci, CHEN Jixin, YU Weijie, LIU Aifeng**
Department of Traumatology & Orthopedics, First Teaching Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, National Clinical Research Center for Chinese Medicine Acupuncture and Moxibustion, Tianjin 300381, China
**Corresponding author：LIU Aifeng, Chief physician, Doctoral supervisor; E-mail: draifeng@163.com*

【Abstract】 Osteoarthritis (OA) is a clinically common degenerative disease, and the late stage of OA can induce loss of joint function and is associated with a high disability rate. At present, no effective radical treatment is available for OA. Consequently, early diagnosis and precision treatment are the keys to improving the therapeutic effects. Artificial intelligence (AI) is a multidisciplinary research hotspot, which has been gradually applied in the diagnosis and treatment of OA in recent years. It can increase the diagnostic accuracy, and improve the clinical treatment and prognostic effect. This paper summarized recent relevant literature to systemically illustrate the application situation of AI in OA diagnosis and treatment. It was discovered that AI was of potential application value in assisting OA imaging diagnosis, surgical treatment, disease progression prediction and postoperative rehabilitation. In addition, this work summarized the application limitations of AI in OA diagnosis and treatment, and pointed out the future research direction, so as to provide reference foundation for the use of AI technique in OA diagnosis and treatment.
【Key words】 Artificial intelligence; Machine learning; Deep learning; Osteoarthritis; Surgical robot; Intelligent rehabilitation; Review

骨关节炎（osteoarthritis, OA）是一种以关节软骨退变为主要特征的退行性骨关节病，好发于中老年人。一项基于全球疾病流行病学研究结果指出，在 60 岁以上人群中，OA 的患病率达到 27.6%[1]。目前全世界约有 2.4 亿人患有 OA[2]，其早期的临床表现主要为慢性疼痛及关节活动受限，中晚期可导致关节持续疼痛、畸形甚至功能丧失，对患者生存质量造成严重影响。影像学资料是确定 OA 改变的主要依据，其中以 X 线和 MRI 最为常用，结合患者临床症状和体征可进一步明确 OA 的诊断，并进行针对性治疗。然而，在 OA 诊疗过程中可能会受到影像学资料判读不准确、患者临床信息收集不完整以及医者临床经验不足等因素影响，造成不同医者制定的诊疗方案存在显著差异，影响治疗效果。因此，如何实现高效、精准的诊断和治疗，成为提高 OA 患者治疗效果的首要问题。

人工智能（artificial intelligence, AI）是通过计算机程序模拟人体大脑智能的一种新兴技术。多学科交叉融合是未来医学发展的一大趋势，随着大数据和计算机等技术的快速发展，AI 技术正在逐渐融入骨科临床诊疗各个方面，其在预测患病风险、辅助疾病诊断及治疗、智能化康复及远程健康监测等方面展现出巨大的潜力与临床应用价值[3]。

近年来，AI 技术在关节置换、脊柱融合手术和创伤修复方面的报道较多，但缺乏在 OA 诊疗应用方面的系统总结和梳理[4-5]。本文主要从 OA 诊断、治疗和预后三个维度出发，对智能医学影像诊断、数据挖掘技术、手术机器人、智能远程康复、预后或疾病进展预测等展开详细论述，并列举目前应用存在的不足，探讨可能的应对策略或改进方法，为更加高效、精准的诊治 OA 提供参考依据。

1 本文文献检索策略

2022 年 10 月 3 日对 PubMed、Web of science、Embase、中国知网、万方、中国生物医学文献数据库进行初步检索，以"人工智能、机器学习、深度学习、骨关节炎、医学影像、手术机器人、预后预测、智能康复"为中文检索主题词；以"Artificial intelligence、Machine learning、Deep learning、Osteoarthritis、Medical imaging、Surgical robot、Prognosis prediction、Intelligent rehabilitation"为英文检索主题词。2022 年 12 月 23 日进行各数据库更新检索。纳入标准：文献主题应与人工智能、骨关节炎及其他主题词密切相关，以新近文献为主。排除标准：明显与研究主题不符、重复发表的文献。

2 AI 技术概述

AI 是由计算机科学、数字科学等多学科融合而成，是现代学科交叉的产物，被认为是 21 世纪的新型尖端技术之一[6]。其主要通过计算机算法来研究和模拟人类智能，并对人类智力进行开发和延伸，使计算机能够实现推理问题、执行任务、自主反应等一系列智能活动。机器学习 (machine learning, ML) 是 AI 的一个分支，其通过各种算法学习和分析大数据库，预测并建立精确的数据模型，是赋予计算机智能的根本[7]。而深度学习 (deep learning, DL) 是 ML 中一种基于数据进行表征学习的代表性算法，DL 算法能够模拟和构建人类大脑思维方式的神经网络机制，借助多层神经网络自主识别并分析数据的深层次特征和规律，极大地提高了数据提取和处理能力[8]。DL 的出现促进了自然语言和图像识别、大数据分析以及专家决策系统等技术领域的多元化发展[9]，这些技术方向正在融入到医学研究领域中，逐渐形成了 AI 辅助新型诊疗模式，成为目前临床医学研究的新方向。

3 AI 在 OA 临床诊断中的应用

3.1 基于 AI 辅助 X 线诊断评估 X 线是 OA 患者首选的影像学检查，但由于临床医师的知识水平和实践经验存在差异，对于影像学结果的评估往往会存在主观性和偏差。基于 ML 和 DL 算法的 AI 技术可以更高效地对图像进行识别与分类，协助医师进行影像资料判读，提高了诊断的精度和效率[10]。一项回顾性研究分析了 50 例膝骨关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 患者，应用 AI 辅助工具对患者的严重程度进行评估，结果发现 AI 工具诊断的准确性为 97.8%，且诊断一致性高于放射科医师平均水平[11]。PONGSAKONPRUTTIKUL 等[12]从 OA 公共资源数据库中收集了 1650 张膝关节 X 线片建立 CNN 模型，旨在帮助骨科医生根据 Kellgren-Lawrence (K-L) 分级系统检测和评估 KOA 分期。发现应用 CNN 模型的准确率为 85%，平均精度达到 81%，提示这些模型可以作为有效的辅助诊断工具，指导专业医师根据 KOA 分期选择治疗方案。然而，这一公共数据库收集的样本人群多数来自欧美国家，在此基础上研发的辅助诊断工具可能并不适合国内人群，因此，构建以中国人群为主的大型 OA 数据库是十分必要的。

此外，AI 技术还能够提升 OA 诊断的特异性和敏感度。Xue 等[13]利用卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 算法训练和测试了 420 张骨盆 X 线图像，对髋部 OA 实行自主诊断。结果显示，与主任医师的诊断结果相比，使用 CNN 模型诊断的敏感度可达到 95.0%，准确率为 92.8%，相当于拥有 10 年临床经验的主治医师水平。REED 等[14]开发并测试了一种结合 ML 算法的筛查工具，以帮助临床医师诊断不同类型的手部关节炎。结果发现该算法在预测手部 OA 的准确性和特异性方面分别为 77.4 和 73.7%，预测类风湿关节炎的准确性和特异性分别为 85.1 和 82.7%，这提示该工具能够辅助相关医师进行诊断，有效降低了手部关节炎的漏诊和误诊风险。然而，受限于算法识别水平，可能会出现 AI 算法系统识别、判读错误的情况，故仍然需要有经验的专家介入研判。

3.2 基于 AI 辅助 MRI 诊断评估 MRI 图像能为 OA 诊断提供更多的信息。稍早期研究多使用传统的 ML 算法辅助 OA 诊断。ASHINSKY 等[15]提出了一种模式识别和多变量回归的软骨退化 MRI 图像分类方法，使用基于形态学的复合层次算法检测评估了 19 例 OA 患者的软骨退化状态，其准确性可达 86%，表明该方法在 OA 的临床检测和分级中具有潜在的应用价值。然而，有研究报道，尽管具有形态学软骨成像序列的 MRI 对检测软骨病变特异性高，但只有中等敏感度[16]。DL 算法的出现将有助于更好的地提高诊断性能。LIU 等[17]基于 DL 算法开发了一个全自动软骨损伤检测系统，以探究其在 KOA 核磁图像方面诊断的可行性。结果显示该检测系统在最佳阈值下的灵敏度和特异性分别为 84.1%和 85.2%，提示检测软骨损伤的总体诊断准确性较高。PEDOIA 等[18]对 1478 例不同病变阶段的 KOA 患者进行了一项回顾性研究，探究 3D-CNN 模型在自动检测 MRI 图像病变部位及严重程度等方面的特异性和敏感性，结果表明，在半月板损伤检测方面的敏感性和特异性分别为 89.81%和 81.98%，软骨损伤检测的敏感性为 80.0%，特异性为 80.27%，并展现出对病变严重程度进行分类的能力。

针对 MRI 诊断时可能存在误诊、漏诊等不足，KLONTZAS 等[19]开发了一个 CNN 模型来帮助鉴别膝关节软骨功能不全骨折 (subchondral insufficiency fractures of the knee, SIFK) 和 OA，采用受试者工作特征 (receiver operating characteristics, ROC) 曲线及各自的曲线下面积 (areas under the curve, AUC) 评估人机性能，结果显示应用 CNN 模型的总体性能最高，AUC 为 95.97%。证实了该方法在区分 SIFK 和 OA 方面具有较高的准确性。此外，针对人工准确解读 MRI 图像费时、出错率高等问题，TIBREWALA 等[20]基于 DL 算法开发了一种 AI 辅助工具，对 MRI 图像上的髋关节 OA 形态学异常进行检测，结果表明该工具能够识别和区分软骨病变、骨髓水肿样病变和软骨下囊肿样病变，并与有经验的影像医师保持了高度一致性。BIEN 等[21]基于 CNN 模型开发了一个用于解读膝关节 MRI 的自动化系统，用于检测 MRI 检查中的一般信号异常和特异性诊断，结果发现在检测异常方面，CNN 模型的表现与无辅助的普通医师之间无明显差异，但提供模型预测能够显著提高临床专家识别前交叉韧带损伤的特异性。考虑到患者样本量较小，还需要更多的前瞻性研究来验证该模型，以确定其在临床诊疗中的效用。

4 AI 在 OA 治疗中的应用

早期症状轻微的 OA 患者通过药物、物理治疗、中医针灸推拿、运动疗法等可达到较好的疗效，基于 AI 的数据挖掘技术能够为医者在 OA 患者用药和选穴方面提供参考依据，已显示出潜在的应用价值。中晚期 OA 患者往往需要手术干预才能取得更好的治疗效果。精准化、微创化和智能化是外科手术今后的发展方向，AI 技术具有高精度、自动化等特点，在 OA 治疗方面得到了广泛应用，其中以 AI 辅助手术智能机器人和 3D 打印手术技术最为突出。

4.1 数据挖掘技术辅助选穴和用药 数据挖掘是指对原始数据进行深层次、多维度的分析，从而更为直观、清晰地发掘数据间的潜在关联和相互作用[22]。数据挖掘技术主要包括监督学习和无监督学习两类算法，其中，以聚类分析和关联规则分析为代表的无监督学习算法应用更为广泛。邓凯烽等[23]使用关联分析法计算药物组合的有效关联强度，结果显示在 KOA 患者的外治中药中，有效强关联药物组合为乳香—没药、川乌—草乌。同时对高频中药进行系统聚类后得出了 3 个有效聚类群，主要包括乳香、没药、红花、当归、川乌、草乌等中药，这与关联分析结果基本吻合。此外，有学者为探究推拿治疗 KOA 的选穴规律，应用 Apriori 算法对高频腧穴 (频次≥40) 进行关联规则分析，结果提示内膝眼、阳陵泉、外膝眼和血海相互间关联性较强。聚类分析结果进一步证实了以上四穴是推拿治疗 KOA 的最常用腧穴[24]。因此，通过发掘不同中药或腧穴与 KOA 之间的关联，能够帮助专科医生对 KOA 患者进行更具针对性的治疗，以延缓 KOA 进展。然而，考虑到数据挖掘技术存在局限性，其结果可能会与临床实际产生偏差，必要时还需进行临床研究加以验证。

4.2 机器人辅助外科手术 近年来，随着 AI 算法技术的改进，ROBODOC、ACROBOT、MAKO、ROSA knee、NAVIO 和 CORI 等多款机器人系统相继出现，并逐渐参与到全膝关节置换 (total knee arthroplasty, TKA)、全髋关节置换 (total hip arthroplasty, THA) 手术中。基于 AI 技术的辅助手术机器人的优势在于增加了 AI 算法对术前影像学资料、术中患者数据的智能化分析，从而能够计算手术路径、选择手术方案、辅助医师术中决策，有效提高了手术的精确性和安全性[25]。唐佩福教授团队自主研发了一套辅助 THA 术前三维规划的 AI 系统，该系统能够对髋关节 CT 图像实现精准、智能分割，并通过 AI 算法自动匹配臼杯和股骨柄，精准预测所需假体型号。此外，其术前规划时间仅需 5 分钟，较其他二维软件相比更加高效[26]。ACROBOT 和 MAKO 是应用于 THA 较为常见的两款手术机器人，后者又可根据患者术前 CT 图像进行虚拟建模，从而找出最佳的假体型号及植入位置。ANDO 等[27]使用 MAKO 机器人辅助 THA 治疗 140 例髋关节发育不良继发 OA 患者，结果发现 MAKO 机器人辅助 THA 组较传统 THA 组髋臼假体放置的位置更为精准。KAMARA 等[28]进一步对 MAKO 机器人辅助 THA 和传统 THA 手术的假体放置位置进行了比较，发现 MAKO 机器人辅助组中 97%的假体位于靶区，而传统 THA 手术组仅有 76%，提示在假体植入位置的准确性方面，MAKO 机器人具备显著优势。目前，国外已更新 MAKO THA 系统 4.0 版本，术前规划时可模拟术后动态撞击效果，具备辅助进行翻修手术的功能，然而关于 MAKO 机器人在 THA 翻修手术中的应用报道较少，仍需大型研究验证。

此外，应用于 TKA 手术的机器人系统主要包括 ROBODOC、MAKO、ROSA knee 和 CORI 等。ROSA knee 机器人的优势在于其保留截骨导板，不需要术前 CT，能够将截骨厚度误差控制在 1 mm 以内，角度误差控制在 0.4°左右，更有利于下肢力线的矫正，但该系统对 TKA 患者长期的功能改善效果尚未得到证实[29]。CORI 机器人系统是基于上一代产品 NAVIO 系统改进而来，采用便携式设计，无需影像引导即可完成 TKA 手术，与 NAVIO 相比，具有更加高效、稳定等优势，但其长期疗效及假体寿命有待进一步研究[30]。考虑到机器人设备昂贵、复杂、应用术式较为局限，且其远期疗效尚未明确，机器人系统用于 THA、TKA 手术仍处于探索发展阶段。今后可通过优化术中配准方式、简化操作流程、制造微型机械臂等措施加以改进，使其更好的充当外科医生的有力助手，最终造福于患者。

4.3 3D 打印技术辅助外科手术 3D 打印是一种快速成型技术，因其具有个体化定制、匹配度高等优势而在临床广泛应用，其原理是将若干个 2D 平面通过材料堆积形成实体 3D 模型。近年来，一些学者利用 AI 系统进行数据分析，通过 3D 打印技术制作出不同的个性化导板用于关节外科手术中。李军等[31]将 3D 打印与数字化技术相结合，设计出相应的 3D 打印个性化截骨导板 (patient-specific instrumentation, PSI) 应用到胫骨高位截骨 (high tibial osteotomy, HTO) 手术中，并与接受传统 HTO 手术的 KOA 患者进行对比，结果发现该技术可减少术中透视次数，缩短手术时间，提高了截骨精准度。李小兵等[32]回顾性收集 120 例内侧间室病变的 KOA 患者，结果显示 3D 打印辅助 HTO 手术组在减少手术时间、术中透视时间及住院时间等方面具有明显优势，术后膝关节疼痛和功能也得到了明显改善。吴迪等[33]选取 123 例重度 KOA 患者，随机分为 PSI 辅助 TKA 和传统 TKA 两组，探讨 PSI 在 TKA 中的应用效果。结果显示应用 PSI 辅助手术可明显缩短手术时间，减少术中失血量，术后关节疼痛改善也优于传统 TKA，且并发症发生率更低。此外，3D 打印技术还可以为不同的患者制作个体化关节假体，相比于传统关节置换手术中使用的固定尺寸的关节假体，定制假体更加贴合患者的骨面，从而减少不必要的截骨[34]。由此可见，依托于影像学检查数据、AI 系统建模的 3D 打印技术能够为患者提供更加精准化、个体化的治疗，且具有较高的安全性。

5 AI 在 OA 患者预后中的辅助价值

AI 算法的发展为患者预后的改善提供了全新的技术手段。目前，结合 AI 技术开发的软件或工具能够在治疗前通过影像学图像、患者检查资料等帮助临床医生预测患者的预后，从而更好地评估临床治疗方案、有效减轻患者的医疗负担。

5.1 基于 AI 预测疾病进展 基于 AI 技术构建预测模型来分析疾病发生或发展风险，能够使专业医师合理调整治疗方案，有利于改善患者预后结局。GUAN 等[35]基于膝关节 X 线图像数据库，运用 DL 风险评估模型预测 KOA 进展。结果显示该模型预测疾病进展的曲线下区域面积 (area under the curve, AUC) 为 0.799 (敏感度为 78.0%，特异性为 75.5%)，提示该模型在预测影像学膝关节间隙丢失进展方面具有良好的诊断性能。LEUNG 等[36]开发了一种能够预测 OA 进展风险的 DL 算法模型，使用该模型分析患者膝关节 X 线图像，并预测患者在 9 年内接受 TKA 手术的可能性。结果显示基于 DL 预测模型的受试者操作特征 AUC 为 0.87，显著高于基于 KL 分级系统的预测模型，这意味着 TKA 的风险会随着患者在 DL 模型中接受 TKA 可能性的增加而增加，DL 模型能够帮助医患双方更好的预测 OA 患者行 TKA 的风险。

5.2 基于 AI 预测患者预后 AI 算法技术能够帮助医者较为准确的预测患者预后，从而为患者提供更好的医疗服务。BINI 等[37]选取 22 例行 TKA 和 THA 手术的 OA 患者，通过软件系统收集了手术前 4 周到术后 6 周患者所报告的相关数据，结合 ML 算法对其进行分析，发现可最早在术后 11 天预测患者术后 6 周自我报告的数据。RAMKUMAR 等[38]设计和开发了一个人工神经网络 (artificial neural network, ANN) 模型，分析数据库中接受初次 THA 手术的 78335 例 OA 患者的 15 个术前变量，用于预测术后患者的住院时长及费用。他们发现 ANN 模型在预测相关结果时表现出良好的可靠性和准确性，但该研究未进行不同 DL 模型之间的比较，存在一定局限性。陈潮锋等[39]基于 ML 构建 7 种算法模型，并评估不同算法模型在预测 TKA 术后患者住院时间的效能，结果表明 ANN 模型的预测效果在 7 种模型中最准确，其次为逻辑回归和多元自适应回归算法模型，这有助于缩短 TKA 患者的住院时间，同时减少了医疗资源负担。可见，基于 AI 技术的算法模型应用到临床实践中，有助于帮助临床医生更好地规划患者住院时长，制定个性化治疗方案，从而减少社会医疗费用，实现更高效的医疗服务。

5.3 基于 AI 的智能化康复 目前，AI 联合虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术是医学康复领域的研究热点，基于软件支持的 AI 可穿戴设备、VR 康复系统等相继出现，并逐渐应用于骨科术后康复。GIANOLA 等[40]使用 VR 设备辅助患者进行 TKA 术后康复，发现使用 VR 技术康复的患者在改善整体本体感觉方面较常规康复的患者更优，提示其能够更好的指导患者进行康复训练。RAMKUMAR 等[41]将一种远程患者监控系统用于接受 TKA 手术的 KOA 患者，成功收集患者术后 3 个月的连续康复数据，包括膝关节活动度、患者自我报告结局估量、阿片类药物使用情况等，这提示基于 AI 技术的远程监测系统能够更全面地评估 TKA 术后患者的活动能力和康复依从性，对指导患者康复具有重要意义。PRVU 等[42]基于远程康复系统对 TKA 术后患者进行虚拟物理康复治疗，结果发现与常规康复方式相比 (如门诊或家庭随访指导康复)，虚拟物理康复治疗能够有效降低医疗成本，减少患者医疗费用，并且在术后疼痛改善和功能恢复方面提供了相似的临床结果。因此，针对一些手术后的患者，可考虑在临床医师监督指导下进行虚拟康复治疗。此外，CORREIA 等[43]基于 AI 生物反馈系统制定了数字化康复干预策略，用于 TKA 术后患者康复，并与常规康复患者进行相关临床结局比较，结果发现在术后不同的随访时间点，数字化康复治疗组患者在改善膝关节疼痛和功能、增加关节活动度、提升日常活动量及生活质量等方面均优于接受常规康复的患者。这表明这种新型的数字化干预方法可以用于 TKA 术后的家庭康复，也在一定程度上节省了患者的医疗支出。

6 AI 技术辅助 OA 诊疗的局限性及其改进方向

6.1 数据采集有限且缺乏标准 AI 技术的临床应用是建立在分析大样本、标准的数据基础之上，与数据的格式、质量和数量密切相关。若在建立临床数据库过程中使用了数据有误、格式错误、数量有限的数据，会直接影响 AI 的输出结果，甚至误导或干扰临床医师的诊疗[44]。然而，由于 OA 检查方法较多，且不同地区所采用的检测设备不同，会导致检测出的临床数据格式存在偏差。因此，建立临床数据采集的标准和规范对于 AI 应用于 OA 诊疗是十分必要的。此外，对于 OA 图像处理方面仍有待完善，目前研究多局限于膝关节骨骼与软骨结构，而对韧带、肌腱、半月板等其他软组织结构则较少关注。今后研究应视膝关节为一个整体，并通过完善图像处理与分割方法，实现膝关节周围组织图像自动分割。

6.2 AI 技术存在固有缺陷 目前 AI 应用于 OA 诊疗仍处在初级阶段，其算法和操作系统缺乏稳定性，同样会存在误诊、漏诊等情况，对疾病的诊断性能以及辅助治疗的远期效果仍无法保证。因此，在临床诊疗时，应避免对 AI 技术的过度依赖，临床医师还需不断提升自己专业技能，AI 可作为 OA 诊疗的辅助工具。此外，当前应用于 OA 乃至医学领域的 AI 算法模型仍以数据驱动为主，存在数据获取量大、成本高等弊端，潘云鹤院士[45]指出推动建立数据和知识双驱动的 AI 方法，是推动 AI 计算范式变革发展的重要方向。因此，AI 应用尚需要进一步优化算法模型，开发出能够整合 OA 患者影像、体征等临床资料的 AI 系统，使其真正有益于提高临床诊断准确率，最终形成具有临床推广价值的产品。

6.3 AI 技术缺乏法律和伦理支持 AI 技术迅速发展的同时也涉及到一些法律和伦理问题。目前国内尚无针对医疗领域 AI 产品的配套法规，对 AI 技术临床应用的标准和规范尚不健全。此外，AI 技术需要分析和学习所收集的患者临床数据，因此，如何保护患者个人隐私是迫切需要解决的伦理问题。接下来应在健全法律制度和伦理框架下，搭建 AI 第三方伦理风险评估体系，并加强医护人员的伦理道德培训，使其遵循伦理先于技术、以人为本的基本原则。

7 小结

立足于多学科交叉和融合的优势，AI 在辅助 OA 影像诊断、指导 OA 药物及手术治疗、预测 OA 进程及预后、术后远程指导及智能化康复方面均发挥着重要作用，但目前 AI 应用仍存在数据提取不规范、数据库样本规模小、算法模型不成熟、伦理及法律制度不完善等问题。因此，在今后的临床应用过程中，应加强医工之间的学科交流与合作，规范临床数据采集，进一步优化 AI 算法模型，精进 AI 相关产品的研发，明确并规范 AI 相关的伦理问题，同时注意对 AI 技术的过度依赖。相信随着 AI 技术的发展以及相关政策制度的完善，其在医疗各个领域的应用将会有更广阔的发展前景，实现更加科学和精准的医疗。

作者贡献：刘爱峰提出文章的构思与设计，对文章整体负责，监督管理；郭天赐进行文献检索、筛选并撰写论文；陈继鑫、余伟杰负责论文修订及审校。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] PEREIRA D, RAMOS E, BRANCO J. Osteoarthritis[J]. Acta Med Port, 2015, 28(1): 99-106. DOI: 10.20344/amp.5477.

[2] KATZ J N, ARANT K R, LOESER R F. Diagnosis and Treatment of Hip and Knee Osteoarthritis: A Review[J]. JAMA, 2021, 325(6): 568-578. DOI: 10.1001/jama.2020.22171.

[3] 郭昊，闫静茹，廉洪宇，等. 人工智能应用于骨科领域相关研究的可视化分析[J]. 中国医药导报，2022，19(24): 16-21. DOI:10.20047/j.issn1673-7210.2022.24.03.
GUO H, YAN J R, LIAN H Y, et al. Visual analysis of related research in arti6cial inteUigence application in orthopaedic field[J]. China Medical Herald, 2022, 19(24): 16-21. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2022.24.03.

[4] 张瑗，顾文华. 人工智能辅助膝关节外科：现状与前景[J]. 创伤外科杂志, 2020, 22(2): 81-86.
ZHANG Y, GU W H. Artificial intelligence in knee surgery: status and prospect[J]. J Trauma Surg, 2020, 22(2): 81-86. DOI:10.3969j.issn.1009-4237.2020.02.001.

[5] 张文涛，杨明，孙天泽，等. 人工智能在脊柱外科的应用进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(2): 174-179.
ZHANG W T, YANG M, SUN T Z, et al. Application progress of artificial intelligence in spine surgery[J]. Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(2): 174-179. DOI:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.02.11.

[6] 李晓理，张博，王康，等. 人工智能的发展及应用[J]. 北京工业大学学报, 2020, 46(6): 583-590.
LI X L, ZHANG B, WANG K, et al. Development and Application of Artificial Intelligence[J]. Journal of Beijing University of technology, 2020, 46(6): 583-590. DOI: 10.11936/bjutxb2020020001.

[7] VAN C B, WYNANTS L. Machine Learning in Medicine[J]. N Engl J Med. 2019, 380(26): 2588. DOI:

10.1056/NEJMc1906060.
[8] CAMACHO DM, COLLINS K M, POWERS R K, et al. Next-generation machine learning for biological networks[J]. Cell, 2018, 173(7): 1581-1592. DOI: 10.1016/j.cell.2018.05.015.
[9] 刘蓬然，陆林，霍彤彤，等. 人工智能技术在骨科领域中的应用进展[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(24): 1699-1704.
LIU P R, LU L, HUO TT, et al. The latest application of artificial intelligence technology orthopaedics[J]. Chin J Orthop, 2020, 40(24): 1699-1704. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20200924-00578.
[10] 卢光明，张志强. 人工智能医学影像[J]. 医学研究生学报, 2018, 31(7): 683-687.
LU G M, ZHANG Z Q. Artificial intelligence in radiology[J]. J Med Postgra, 2018, 31(7): 683-687. DOI:10.16571/j.cnki.1008-8199.2018.07.003.
[11] BREJNEBØL M W, HANSEN P, NYBING J U, et al. External validation of an artificial intelligence tool for radiographic knee osteoarthritis severity classification[J]. Eur J Radiol, 2022, 150: 110249. DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110249.
[12] PONGSAKONPRUTTIKUL N, ANGTHONG C, KITTICHAI V, et al. Artificial intelligence assistance in radiographic detection and classification of knee osteoarthritis and its severity: a cross-sectional diagnostic study[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2022, 26(5): 1549-1558. DOI: 10.26355/eurrev_202203_28220.
[13] XUE Y, ZHANG R, DENG Y, et al. A preliminary examination of the diagnostic value of deep learning in hip osteoarthritis[J]. PLoS One. 2017, 12(6): e0178992. DOI: 10.1371/journal.pone.0178992.
[14] REED M, RAMPONO B, TURNER W, et al. A multicentre validation study of a smartphone application to screen hand arthritis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 433. DOI: 10.1186/s12891-022-05376-9.
[15] ASHINSKY BG, COLETTA CE, BOUHRARA M, et al. Machine learning classification of OARSI-scored human articular cartilage using magnetic resonance imaging[J]. Osteoarthritis Cartilage. 2015, 23(10): 1704-1712. DOI: 10.1016/j.joca.2015.05.028.
[16] MENASHE L, HIRKO K, LOSINA E, et al. The diagnostic performance of MRI in osteoarthritis:a systematic review and meta-analysis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2012, 20(1): 13-21. DOI: 10.1016/j.joca.2011.10.003.
[17] LIU F, ZHOU Z, SAMSONOV A, et al. Deep Learning Approach for Evaluating Knee MR Images: Achieving High Diagnostic Performance for Cartilage Lesion Detection[J]. Radiology, 2018, 289(1): 160-169. DOI: 10.1148/radiol.2018172986.
[18] PEDOIA V, NORMAN B, MEHANY S N, et al. 3D convolutional neural networks for detection and severity staging of meniscus and PFJ cartilage morphological degenerative changes in osteoarthritis and anterior cruciate ligament subjects[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(2): 400-410. DOI: 10.1002/jmri.26246.
[19] KLONTZAS M E, VASSALOU E E, KAKKOS G A, et al. Differentiation between subchondral insufficiency fractures and advanced osteoarthritis of the knee using transfer learning and an ensemble of convolutional neural networks[J]. Injury, 2022, 53(6): 2035-2040. DOI: 10.1016/j.injury.2022.03.008.
[20] TIBREWALA R, OZHINSKY E, SHAH R, et al. Computer-Aided Detection AI Reduces Interreader Variability in Grading Hip Abnormalities With MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(4): 1163-1172. DOI: 10.1002/jmri.27164.
[21] BIEN N, RAJPURKAR P, BALL R L, et al. Deep-learning-assisted diagnosis for knee magnetic resonance imaging: Development and retrospective validation of MRNet[J]. PLoS Med, 2018, 15(11): e1002699. doi: 10.1371/journal.pmed.1002699.
[22] 刘军，韩燕鸿，潘建科，等. 人工智能在中医骨伤科领域应用的现状与前景[J]. 中华中医药杂志，2019，34(08): 3608-3612.
LIU J, HAN Y H, PAN J K, et al. Application status and prospect of artificial intelligence in the field of traditional Chinese medicine orthopedics[J]. CJTCMP, 2019, 34(08): 3608-3612.
[23] 邓凯烽，宁恒，陆惠玲，等. 基于现代数据挖掘技术分析中医外治法治疗膝骨关节炎的用药规律[J]. 中国中医基础医学杂志, 2021, 27(05): 796-801.
DENG K F, NING H, LU H L, et al. Analyzing The Rule of Traditional Chinese Medicine External Treatment for Knee Osteoarthritis Based on Modern Data Mining Technology[J]. Journal of Basic Chinese Medicine, 2021, 27(05): 796-801. DOI: 10.19945/j.cnki.issn.1006-3250.2021.05.023.

[24] 古来撒尔·艾克拜尔，卢旭昇，刘俊昌，等. 基于数据挖掘的推拿治疗膝骨关节炎手法及选穴规律分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(05): 23-29.
GULAISAER A, LU X, LIU J C, et al. Analysis on Manipulation and Acupoint Selection Laws of Massage for Treatment of Knee Osteoarthritis Based on Data Mining Technology[J]. Chinese Journal of Information on TCM, 2022, 29(05): 23-29. DOI:10.19879/j.cnki.1005-5304.202109045.

[25] BUZA J A, GOOD C R, LEHMAN R A, et al. Robotic-assisted cortical bone trajectory (CBT) screws using the Mazor X Stealth Edition (MXSE) system: workflow and technical tips for safe and efficient use[J]. J Robot Surg, 2021, 15(1): 13-23. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002699.

[26] 吴东，刘星宇，张逸凌，等. 人工智能辅助全髋关节置换术三维规划系统的研发及临床应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(09): 1077-1084.
WU D, LIU X Y, ZHANG Y L, et al. Research and application of artificial intelligence based three-dimensional preoperative planning system for total hip arthroplasty[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2020, 34(09): 1077-1084. DOI:10.7507/1002-1892.202005007.

[27] ANDO W, TAKAO M, HAMADA H, et al. Comparison of the accuracy of the cup position and orientation in total hip arthroplasty for osteoarthritis secondary to developmental dysplasia of the hip between the Mako robotic arm-assisted system and computed tomography-based navigation[J]. Int Orthop, 2021, 45(7): 1719-1725. DOI: 10.1007/s00264-021-05015-3.

[28] KAMARA E, ROBINSON J, BAS M A, et al. Adoption of Robotic vs Fluoroscopic Guidance in Total Hip Arthroplasty: Is Acetabular Positioning Improved in the Learning Curve?[J]. J Arthroplasty, 2017, 32(1): 125-130. DOI: 10.1016/j.arth.2016.06.039.

[29] SEIDENSTEIN A, BIRMINGHAM M, FORAN J, et al. Better accuracy and reproducibility of a new robotically-assisted system for total knee arthroplasty compared to conventional instrumentation: a cadaveric study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(3): 859-866. DOI: 10.1007/s00167-020-06038-w.

[30] SICAT C S, CHOW J C, KAPER B, et al. Component placement accuracy in two generations of handheld robotics-assisted knee arthroplasty[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(12): 2059-2067. DOI: 10.1007/s00402-021-04040-6.

[31] 李军，谢佳，梁帅，等. 膝骨性关节炎 3D 打印导板与传统胫骨高位截骨比较[J]. 中国矫形外科杂志，2022, 30(17): 1560-1565.
LI J, XIE J, LIANG S, et al. 3D-printed patient-specific instrumented high tibial osteotomy versus traditional counterpart for medial knee osteoarthritis[J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30(17): 1560-1565. DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.17.04.

[32] 李小兵，郭新军，冯立平，等. 3D 打印辅助高位胫骨截骨治疗内侧室膝骨关节炎[J]. 中国矫形外科杂志，2021, 29(21): 1950-1954.
LI X B, GUO X J, FENG L P, et al. 3D printing assisted high tibial osteotomy for medial compartmental osteoarthritis of the knee[J]. Orthopedic Journal of China, 2021, 29(21): 1950-1954. DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2021.21.06.

[33] 吴迪，司丽娜，武丽珠，等. 3D 打印截骨导板在重度膝骨性关节炎患者多半径假体全膝关节置换术中的应用效果[J]. 实用医学杂志, 2022, 38(2): 190-195.
WU D, SI L N, WU L Z, et al. Application of 3D printing osteotomy guide plate for multi-radius prosthesis total knee arthroplasty in patients with severe knee osteoarthritis and its effect on surgical trauma and joint function[J]. The Journal of Practical Medicine, 2022, 38(2): 190-195. DOI:10.3969/j.issn.1006-5725.2022.02.012.

[34] APRATO A, GIACHINO M, BEDINO P, et al. Management of Paprosky type three B acetabular defects by custom-made components:early results[J]. Int Orthop, 2019, 43(1): 117-122. DOI: 10.1007/s00264-018-4203-5.

[35] GUAN B, LIU F, HAJ-MIRZAIAN A, et al. Deep learning risk assessment models for predicting progression of radiographic medial joint space loss over a 48-MONTH follow-up period[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2020, 28(4): 428-437. doi: 10.1016/j.joca.2020.01.010.

[36] LEUNG K, ZHANG B, TAN J, et al. Prediction of Total Knee Replacement and Diagnosis of Osteoarthritis by Using Deep Learning on Knee Radiographs: Data from the Osteoarthritis Initiative[J]. Radiology, 2020, 296(3):

584-593. DOI: 10.1148/radiol.2020192091.
[37] BINI S A, SHAH R F, BENDICH I, et al. Machine Learning Algorithms Can Use Wearable Sensor Data to Accurately Predict Six-Week Patient-Reported Outcome Scores Following Joint Replacement in a Prospective Trial[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(10): 2242-2247. DOI: 10.1016/j.arth.2019.07.024.
[38] RAMKUMAR PN, KARNUTA JM, NAVARRO S M, et al. Preoperative Prediction of Value Metrics and a Patient-Specific Payment Model for Primary Total Hip Arthroplasty: Development and Validation of a Deep Learning Model[J]. J Arthroplasty. 2019, 34(10): 2228-2234.e1. DOI: 10.1016/j.arth.2019.04.055.
[39] 陈潮锋，石宇雄，梁锦成，等. 基于机器学习算法预测全膝关节置换后住院时长[J]. 中国组织工程研究，2021，25(27): 4300-4306.
CHEN C F, SHI Y X, LIANG J C, et al. Prediction algorithm of hospitalization duration after total knee arthroplasty based on machine learning[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2021, 25(27): 4300-4306. DOI: 10.12307/2021.186.
[40] GIANOLA S, STUCOTIVZ E, CASTELLINI G, et al. Effects of early virtual reality-based rehabilitation in patients with total knee arthroplasty: A randomized controlled trial[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(7): e19136. DOI: 10.1097/MD.0000000000019136.
[41] RAMKUMAR P N, HAEBERLE H S, RAMANATHAN D, et al. Remote Patient Monitoring Using Mobile Health for Total Knee Arthroplasty: Validation of a Wearable and Machine Learning-Based Surveillance Platform[J]. J Arthroplasty, 2019, 34(10): 2253-2259. DOI: 10.1016/j.arth.2019.05.021.
[42] PRVU B J, GREEN C L, HOLMES D N, et al. Effects of Virtual Exercise Rehabilitation In-Home Therapy Compared with Traditional Care After Total Knee Arthroplasty: VERITAS, a Randomized Controlled Trial[J]. J Bone Joint Surg Am, 2020, 102(2): 101-109. DOI: 10.2106/JBJS.19.00695.
[43] CORREIA F D, NOGUEIRA A, MAGALHÃES I, et al. Medium-Term Outcomes of Digital Versus Conventional Home-Based Rehabilitation After Total Knee Arthroplasty: Prospective, Parallel-Group Feasibility Study[J]. JMIR Rehabil Assist Technol, 2019, 6(1): e13111. DOI: 10.2196/13111.
[44] 项林奕，朱津博，葛依婷，等. 人工智能技术在脊柱侧凸诊疗中的应用进展[J]. 中华骨科杂志，2022，42(6): 388-394.
XIANG L Y, ZHU J B, GE Y T, et al. Application progress of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of scoliosis. Chin J Orthop, 2022, 42(6): 388-394. DOI:10.3760/cma.j.cn121113-20210424-00314.
[45] PAN Y H. Heading toward artificial intelligence 2.0[J]. Engineering, 2016, 2(4): 409-413. DOI: 10.1016/J.ENG.2016.04.018.